转 *cry*1*Ac*/*sck* 基因抗虫水稻对稻田寄生蜂群落影响的评价

刘雨芳[1]，**贺 玲**[1]，**汪 琼**[1]，**胡斯琴**[1]，**刘文海**[1]，**陈康贵**[1]，**尤民生**[2]

(1. 湖南科技大学生命科学学院，湖南湘潭 411201；2. 福建农林大学植保学院，福州 350002)

摘要：以转 *cry*1*Ac*/*sck* 双基因抗虫水稻 MSA、MSB、MSA4（对照：MH86）及其杂交稻 KF6-304（对照：Ⅱ-YM86）为材料，系统地研究了转基因抗虫水稻对稻田寄生蜂群落的影响及生态安全性。结果表明：在群落水平上，转基因抗虫水稻 MSA、MSB、MSA4 及杂交稻 KF6-304 对稻田寄生蜂的物种丰富度、多样性指数、均匀性指数和优势集中性指数的总体情况与时间动态以及个体总数无明显负面影响，但在生长中期转基因稻可降低稻田寄生蜂的个体数量。按寄生蜂功能团分析，MSA 与 MSA4 在水稻生长发育的后期初始，提高卵寄生蜂的数量，MSA、MSB、MSA4 及杂交稻 KF6-304 显著降低以靶标害虫稻纵卷叶螟为寄主的寄生蜂功能团的个体数量，对其他寄生蜂无明显负面影响。

关键词：转基因水稻；*cry*1*Ac*/*sck* 基因；抗虫性；寄生蜂群落；功能团

中图分类号：Q968 **文献标识码**：A **文章编号**：0454-6296(2006)06-0955-08

Evaluation of the effects of insect-resistant *cry*1*Ac*/*sck* transgenic rice on the parasitoid communities in paddy fields

LIU Yu-Fang[1], HE Ling[1], WANG Qiong[1], HU Si-Qin[1], LIU Wen-Hai[1], CHEN Kang-Gui[1], YOU Min-Sheng[2] (1. School of Life Sciences, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan, Hunan 411201, China; 2. College of Plant Protection, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: Effects of three transgenic rice lines (MSA, MSB and MSA4) and one transgenic hybrid rice line (KF6-304) with a fused double genes of *cry*1*Ac* and *sck* (*cry*1*Ac*/*sck* rice) on the parasitoid communities in paddy fields were investigated, and the ecological safety of these *cry*1*Ac*/*sck* rice lines were evaluated. Untransformed rice MH86 was used as the control for MSA, MSA and MSA4, while Ⅱ-YM86 as the control for KF6-304. The results showed that no significant differences were found both in overall situation and temporal dynamics of species richness, diversity, evenness and dominance indices of the parasitoid communities in paddy fields of different rice lines between the transgenic rice lines and their control rice lines, and the same when evaluated with the total number of individuals. However, *cry*1*Ac*/*sck* rice lines decreased the number of individuals of parasitoids at the middle stage of rice growth. The data of the function groups of parasitoids revealed that MSA and MSA4 increased the number of individuals of egg parasitoids at the beginning of late stage of rice growth, and all *cry*1*Ac*/*sck* rice lines markedly decreased the number of individuals of the function group of parasitoids which attacked the target pest *Cnaphalocrocis medinalis*, but had no significant negative effects on other function groups of parasitoids on no-target pest insects.

Key words: transgenic rice; *cry*1*Ac*/*sck* gene; pest-resistance; parasitoid community; function group

随着生物技术的迅速发展以及该技术在遗传育种上的应用，已获得大量的转基因抗虫水稻品系（Cohen *et al*., 2000；朱祯，2001；Khurram *et al*., 2004；马炳田等，2004a；慈晓燕等，2005），大量的

基金项目：国家自然科学基金项目（30270879）；国家'863'项目（2001AA212261）；湖南省杰出青年科学基金项目（04JJ1003）；湖南省自然科学基金（02JJY5009）；湖南省教育厅重点项目（05A012）

作者简介：刘雨芳，女，1964 年生，湖南湘乡人，博士，教授，主要从事群落生态学与生态安全评价研究，E-mail：yurainliu@yahoo.com.cn

收稿日期 Received：2006-02-15；接受日期 Accepted：2006-10-24

实验证明这些转基因抗虫水稻对靶标害虫具有非常显著的抗性(Ye *et al*.,2001;Khanna and Raina,2002;Meng *et al*.,2003;刘雨芳,2004a;赵红盈等,2004;马炳田等,2004b;刘雨芳等,2005a;慈晓燕等,2005)。种植转基因抗虫作物品种能够解除因防治重要害虫对广谱杀虫剂的需求,自然防治因子能更好地抑制次要害虫的种群,维持鸟类、鼠类与两栖动物的猎物多样性与丰盛度(Philip *et al*.,2002)。然而,转基因抗虫作物的商业化种植是否会影响作物生态系统中天敌的种类与数量已引起世界各国科学家的极大关注,其对生态环境的安全性倍受瞩目(Shelton *et al*.,2002;Schoenly *et al*.,2003;杨庆文,2003;刘雨芳,2004b;Snow *et al*.,2005)。对转基因抗虫水稻的田间生态安全研究已取得了一些进展(Bernal *et al*.,2002;刘志诚等,2002,2003;刘雨芳,2004b;Khurram *et al*.,2004;刘雨芳等,2005b;蔡万伦等,2005),一些结果表明转 Bt 水稻对稻田节肢动物群落基本无明显的负面影响(刘志诚等,2002,2003;陈晓娟等,2003;傅强等,2003),转 *cry*1*Ac*/*sck* 双基因抗虫水稻在生长全期对稻田节肢动物群落也无显著影响(刘雨芳,2004a;刘雨芳等,2005c),对非靶标水稻害虫群落的组成与结构没有明显影响(刘雨芳等,2005b)。

转基因作物对寄生蜂的影响也已开展了一些研究,重点是转基因作物对个别寄生蜂种群的生长发育及寄生力的影响。有结果表明转基因作物对天敌类寄生蜂无明显的不良影响,如 Bt 水稻对稻虱缨小蜂 *Anagrus* spp. 和叶蝉柄翅小蜂 *Lynaenon longicrus* 两类卵寄生性天敌昆虫在扩散数量和方向上无不利影响(陈茂等,2003);转 Bt 基因(*cry*1*Ab*)水稻 KMD1 对二化螟绒茧蜂 *Apanteles chilonis* 的卵+幼虫历期、茧块茧数、蜂羽化率及性比均无显著影响(姜永厚等,2004);转 *CrylAc*+*CpTI* 基因棉花粉对拟澳洲赤眼蜂 *Trichogramma confusum* 的寿命、寄生卵数、子代羽化数及性比等繁殖和存活特征无影响(耿金虎等,2005);转 *Bt*+*CpTI* 双价基因棉田中棉蚜茧蜂 *Lysiphlebia japonica* 的蜂羽化率、出蜂时间、蜂重与常规棉田相比均无明显差异,且能明显提高棉蚜茧蜂的羽化率,对棉蚜茧蜂的寄生力影响不大。但转 *Bt*+*CpTI* 双价基因棉和 *Bt* 棉均严重影响棉铃虫寄生蜂侧沟绿茧蜂 *Microplitis* sp. 和齿唇姬蜂 *Campoletis chlorideae* 的寄生率、羽化率、茧重和蜂重,且 *Bt* 棉显著降低寄生蜂数量(崔金杰等,2005)。这说明上述转 Bt 水稻与转 *CrylAc*+*CpTI* 基因棉花等对某些寄生蜂天敌还是可能有明显的负面影响。

转 *cry*1*Ac*/*sck* 双基因抗虫水稻对稻田寄生蜂群落的多样性与稳定性、物种组成与结构及稻田中重要寄生蜂的种群动态有无影响及有何种影响,是转 *cry*1*Ac*/*sck* 双基因抗虫水稻环境释放前进行生态安全性评价的一项重要内容。本文以转 *cry*1*Ac*/*sck* 双基因抗虫水稻 MSA、MSB、MSA4 及杂交稻 KF6-304 为材料,以稻田寄生蜂为指示生物,系统研究了转基因抗虫水稻对稻田寄生蜂群落多样性与重要寄生蜂的田间数量变动的影响,现报道如下。

1 材料与方法

1.1 试验水稻品系

试验水稻品系为转基因水稻恢复系 MSA、MSB、MSA4 与转基因杂交稻 KF6-304,均含 *cry*1*Ac*/*sck* 双基因,田间实验证明对稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis* 表现高抗(刘雨芳等,2005a),其中 *sck* 是经修饰的 *CpTI* 基因(刘雨芳等,2005b)。MSA、MSB、MSA4 系采用农杆菌介导法培育获得,其对照稻为非转基因亲本恢复系明恢 86(MH86)。KF6-304 是以转 *cry*1*Ac* 与 *sck* 双价基因抗虫水稻恢复系为亲本育成的转基因杂交稻,以非转基因杂交稻两优明 86(Ⅱ-YM86)为对照。以上实验材料均由福建省农业科学院农业遗传工程重点实验室提供。

1.2 试验设计与田间管理

按转基因作物安全管理要求选择或设置试验圃。试验于 2002 年与 2004 年晚稻期,分别在福建省沙县良种场与湖南省湘潭县科大试验场农田完成。沙县试验圃四周有覆草沟渠、车道、水芋田或果园等,湘潭试验圃四周有水沟、宽阔道路、池塘、蔬菜地或种植生育期与转基因水稻不同的一季稻,构成自然隔离带,每个转基因水稻品系的四周边缘均种植对照水稻 12 行,宽度 2 m,构成保护行。2002 年在沙县种 MSA、MSB 与对照 MH86,2004 年在湘潭种 MSA4、KF6-304 与对照 MH86、Ⅱ-YM86。每品系种植面积均为 1 334 m^2,设 2 次重复,品系随机排列。

均采用湿润育秧、畦播,人工单本移栽,间距为(16~17) cm(列距)×20 cm(行距)。2002 年于 6 月 20 日播种,7 月 14 日移栽,秧龄 25 天;9 月 13 日始穗、9 月 18 日齐穗、10 月 24 日成熟期末,10 月 25 日收割。2004 年于 6 月 8 日播种,7 月 11 日移栽,秧龄 34 天;9 月 2 日始穗、9 月 9 日齐穗、10 月 14 日成熟期末,10 月 15 日收割。收获的转基因稻谷按品系

分别收集，用于转基因稻米的食品安全性研究。水稻移栽后的整个生长期完全不施用化学杀虫剂与除草剂，采用人工中耕除草，水肥等按常规管理。

1.3　调查方法

在水稻移栽后的第14、28、42、56、70和84天各调查1次，全期共调查6次。每品系用对角线法选取5点，每点取稻20丛（1 m^2），每次调查100丛稻。用吸虫器法（刘雨芳等，1999）采集取样。样品用80%的乙醇浸泡后，带回室内清样、检出节肢动物，寄生蜂单独装管，用80%的乙醇保存。然后进行鉴定、计数与统计分析。常见者尽量鉴定到种，其他鉴定到科。

1.4　群落参数与数据分析

采用群落中物种个体数量（*N*）、物种丰富度（*S*）、Shannon-Winner物种多样性指数（*H'*）、均匀性指数（*J*）与Simpson优势集中性指数（*C*）分析群落特征（丁岩钦，1994）。

将寄生蜂按寄主（夏松云等，1988；黄建，1994）划分为以下几个功能团（function group）：飞虱叶蝉卵寄生蜂功能团（PLHP：以稻田飞虱与叶蝉卵为寄主的寄生蜂）；稻纵卷叶螟寄生蜂功能团（CMHP：以稻纵卷叶螟卵、幼虫、蛹为寄主的寄生蜂）；其他螟虫寄生蜂功能团（OBHP：以二化螟 *Chilo suppressalis*、三化螟 *Tryporyza incertulas*、大螟 *Sesamia inferens* 等为寄主的寄生蜂）、重寄生蜂功能团（PHP：以寄生蜂为寄主的寄生蜂）；其他寄生蜂功能团（NKHP：寄主不明或不详的寄生蜂）。并对稻田重要寄生蜂功能团PLHP和CMHP的个体数量时间动态进行分析。

生长全期的数据与寄生蜂功能团数量是对水稻整个生育期的6次采集数据统计而来，其余均是对每一次采样的5个样方的数据进行统计分析。数据计算与统计在Excel 2000与SPSS 11.0 version软件上完成。

2　结果与分析

2.1　生长全期对群落结构特征参数的总体影响

2002年福建沙县与2004年湖南湘潭的实验数据均表明，在水稻生长期，各转基因稻系稻田草的寄生蜂群落物种丰富度、个体数量、多样性指数、均匀性指数与优势集中性指数略高于或略低于各自的对照稻田，但均与对照无显著差异，详见表1。

表1　不同稻系稻田寄生蜂群落结构特征

Table 1　Characteristic values of the parasitoid communities in paddy fields of different rice lines (Mean ± *SE*) (*n* = 6)

年份/地点 Year/Site	稻系 Rice line	群落参数 Community parameters *S*	*N*	*H'*	*J*	*C*
2002/沙县 2002/Shaxian	MSA	20.17 ± 1.47	92.33 ± 20.07	2.51 ± 0.18	0.84 ± 0.05	0.14 ± 0.05
	MH86	20.33 ± 1.99	93.00 ± 13.85	2.45 ± 0.13	0.83 ± 0.03	0.14 ± 0.02
	$P_{MSA\text{-}MH86}$	0.929	0.972	0.812	0.891	0.978
	MSB	19.83 ± 2.43	81.17 ± 18.32	2.48 ± 0.13	0.84 ± 0.03	0.13 ± 0.02
	MH86	20.33 ± 1.99	93.00 ± 13.85	2.45 ± 0.13	0.83 ± 0.03	0.14 ± 0.02
	$P_{MSB\text{-}MH86}$	0.713	0.383	0.803	0.841	0.675
2004/湘潭 2004/Xiangtan	MSA4	11.50 ± 1.77	185.67 ± 147.57	1.88 ± 0.32	0.79 ± 0.13	0.26 ± 0.13
	MH86	13.17 ± 2.17	86.17 ± 28.06	1.94 ± 0.16	0.80 ± 0.05	0.21 ± 0.03
	$P_{MSA4\text{-}MH86}$	0.430	0.488	0.852	0.917	0.686
	KF6-304	14.17 ± 2.30	52.33 ± 15.49	2.20 ± 0.16	0.86 ± 0.03	0.15 ± 0.02
	II-YM86	16.00 ± 2.16	73.83 ± 25.38	2.34 ± 0.10	0.86 ± 0.04	0.13 ± 0.01
	$P_{KF6\text{-}304\text{-}Ⅱ\text{-}YM86}$	0.130	0.315	0.357	0.940	0.473

$P_{MSA\text{-}MH86}$表示试验对MSA-MH86的*P*值，其余同此，表2-5同此。$P_{MSA\text{-}MH86}$ means the *P* value of the test pair MSA and MH86, and the same logic for other test pairs. The same for Tables 2 – 5.

2.2　对群落结构特征参数时间动态的影响

2.2.1　对物种丰富度时间动态的影响：2002年在福建沙县，各次调查的实验结果均显示，转基因水稻MSA与MSB稻田寄生蜂物种丰富度略高于或略低于对照MH86稻田，但均与对照无显著差异（表2）。

2004年在湖南湘潭，水稻移栽后第14天，MSA4稻田寄生蜂物种丰富度显著高于对照（*P* = 0.034），第42天的调查则为MSA4显著低于对照（*P* = 0.047），其余各次调查均与对照无显著差异；水稻移栽后第56天，KF6-304稻田寄生蜂物种丰富度显著低于对照Ⅱ-YM86（*P* = 0.027），其余各次调查数据均显示与对照无显著差异（表2）。

2.2.2　对个体数量时间动态的影响：2002年在福建沙县，水稻移栽后第42、70天，MSA与MSB及在水稻移栽后第56天，MSB稻田寄生蜂数量显著或极显著低于对照稻田，其余各次调查数据均显示

MSA、MSB 与对照间无显著差异(表 3)。

2004 年在湖南湘潭,水稻移栽后第 28 天 MSA4、移栽后第 56 天 KF6-304 稻田寄生蜂数量均显著低于各自的对照田,而在移栽后第 70 天,MSA4 稻田寄生蜂数量极显著高于对照($P = 0.007$);其余各次调查数据均显示,MSA4、KF6-304 稻田寄生蜂数量与各自的对照田无显著差异(表 3)。

表 2 不同稻系稻田寄生蜂物种丰富度时间动态(20 丛稻)

Table 2 Temporal dynamics of species richness of the parasitoid communities in paddy fields of different rice lines (20 clusters of rice) (Mean ± *SE*) (*n* = 5)

年份/地点 Year/Site	稻系 Rice line	移栽后天数 Days after transplantation 14	28	42	56	70	84
2002/沙县	MSA	6.40 ± 0.51	7.00 ± 1.05	6.60 ± 1.03	10.40 ± 0.68	14.80 ± 1.39	8.40 ± 0.68
2002/Shaxian	MH86	7.20 ± 0.80	5.20 ± 0.73	7.80 ± 0.66	10.40 ± 1.28	12.60 ± 0.81	8.40 ± 1.21
	$P_{MSA-MH86}$	0.242	0.088	0.342	1.000	0.319	1.000
	MSB	5.60 ± 0.40	5.40 ± 0.81	7.60 ± 1.81	9.40 ± 0.93	14.00 ± 0.89	8.40 ± 0.93
	MH86	7.20 ± 0.80	5.20 ± 0.73	7.80 ± 0.66	10.40 ± 1.28	12.60 ± 0.81	8.40 ± 1.21
	$P_{MSB-MH86}$	0.227	0.847	0.923	0.486	0.245	1.000
2004/湘潭	MSA4	2.0 ± 0.55	2.80 ± 1.16	3.60 ± 0.75	10.00 ± 1.22	6.40 ± 0.60	4.00 ± 0.84
2004/Xiangtan	MH86	1.0 ± 0.32	7.00 ± 1.30	5.60 ± 0.68	10.80 ± 0.86	8.00 ± 1.00	3.80 ± 0.66
	$P_{MSA4-MH86}$	0.034	0.064	0.047	0.528	0.195	0.815
	KF6-304	1.80 ± 0.37	5.00 ± 0.45	9.60 ± 1.50	6.00 ± 0.71	7.80 ± 1.16	3.80 ± 0.58
	Ⅱ-YM86	2.40 ± 0.51	4.20 ± 1.24	6.00 ± 0.95	11.20 ± 1.02	8.60 ± 0.93	3.80 ± 0.86
	$P_{KF6-304-Ⅱ-YM86}$	0.426	0.495	0.178	0.027	0.477	1.00

表 3 不同稻系稻田寄生蜂个体数量时间动态(20 丛稻)

Table 3 Temporal dynamics of the number of individuals of the parasitoids in paddy fields of different rice lines (20 clusters of rice) (Mean ± *SE*) (*n* = 5)

年份/地点 Year/Site	稻系 Rice line	移栽后天数 Days after transplantation 14	28	42	56	70	84
2002/沙县	MSA	19.00 ± 2.61	10.80 ± 1.88	8.80 ± 1.96	18.60 ± 2.14	14.80 ± 1.39	17.00 ± 1.70
2002/Shaxian	MH86	14.00 ± 2.90	10.00 ± 1.05	20.20 ± 2.63	27.60 ± 3.91	24.80 ± 1.20	15.00 ± 2.65
	$P_{MSA-MH86}$	0.130	0.675	0.022	0.053	0.004	0.605
	MSB	9.40 ± 1.12	9.20 ± 1.07	10.60 ± 2.68	20.60 ± 2.71	14.20 ± 0.89	15.40 ± 1.96
	MH86	14.00 ± 2.90	10.00 ± 1.05	20.20 ± 2.63	27.60 ± 3.91	24.80 ± 1.20	15.00 ± 2.65
	$P_{MSB-MH86}$	0.269	0.477	0.009	0.044	0.001	0.903
2004/湘潭	MSA4	2.00 ± 0.55	3.20 ± 1.28	4.60 ± 1.21	23.60 ± 1.03	183.80 ± 28.61	5.60 ± 1.33
2004/Xiangtan	MH86	1.20 ± 0.37	20.80 ± 4.53	9.00 ± 1.22	34.20 ± 6.59	31.20 ± 5.45	6.60 ± 1.57
	$P_{MSA4-MH86}$	0.178	0.017	0.069	0.148	0.007	0.635
	KF6-304	1.80 ± 0.37	7.60 ± 1.96	14.80 ± 2.92	8.60 ± 1.60	24.00 ± 6.45	6.60 ± 1.47
	Ⅱ-YM86	3.40 ± 0.93	5.80 ± 1.46	14.40 ± 4.50	31.40 ± 5.10	28.60 ± 8.18	5.00 ± 1.82
	$P_{KF6-304-Ⅱ-YM86}$	0.426	0.322	0.939	0.019	0.189	0.078

2.2.3 对多样性指数、均匀性指数及优势集中性指数时间动态的影响:2002 年在福建沙县的研究结果显示,水稻移栽后,稻田寄生蜂多样性指数(图 1:A)、均匀性指数(图 1:B)与优势集中性指数(图 1:C),MSA、MSB 与对照稻间无明显差异。

2004 年在湖南湘潭的研究结果则显示,在移栽后第 70 天,MSA4 稻田寄生蜂群落多样性指数(图 1:D)、均匀度(图 1:E)明显低于对照 MH86,优势集中性(图 1:F)明显高于对照 MH86 外,其余各次调查结果均表明,MSA4、KF6-304 稻田寄生蜂群落的多样性、均匀度、优势集中性指数与各自对照稻田间均无明显差异,且变化趋势一致。

2.3 对寄生蜂各功能团个体数量结构的影响

2.3.1 对个体总数的影响:2002 年在福建沙县的研究结果显示,MSA、MSB 稻田中稻纵卷叶螟寄生蜂功能团个体总数显著低于对照稻 MH86($P_{MSA-MH86} = 0.039$, $P_{MSB-MH86} = 0.043$),其余寄生蜂功能团个体数量在 MSA、MSB 与 MH86 稻田间无显著差异(表 4)。

2004 年在湖南湘潭的研究结果与 2002 年相似。MSA4 与 KF6-304 稻田中稻纵卷叶螟寄生蜂功能团个体数量均显著低于各自的对照稻 MH86($P_{MSA-MH86} = 0.021$)与 Ⅱ-YM86($P_{KF6-304-Ⅱ-YM86} = 0.043$),其余寄

生蜂功能团个体数量在 MSA4 **与** MH86、KF6-304 **与** Ⅱ-YM86 **均无显著差异(表** 5)。

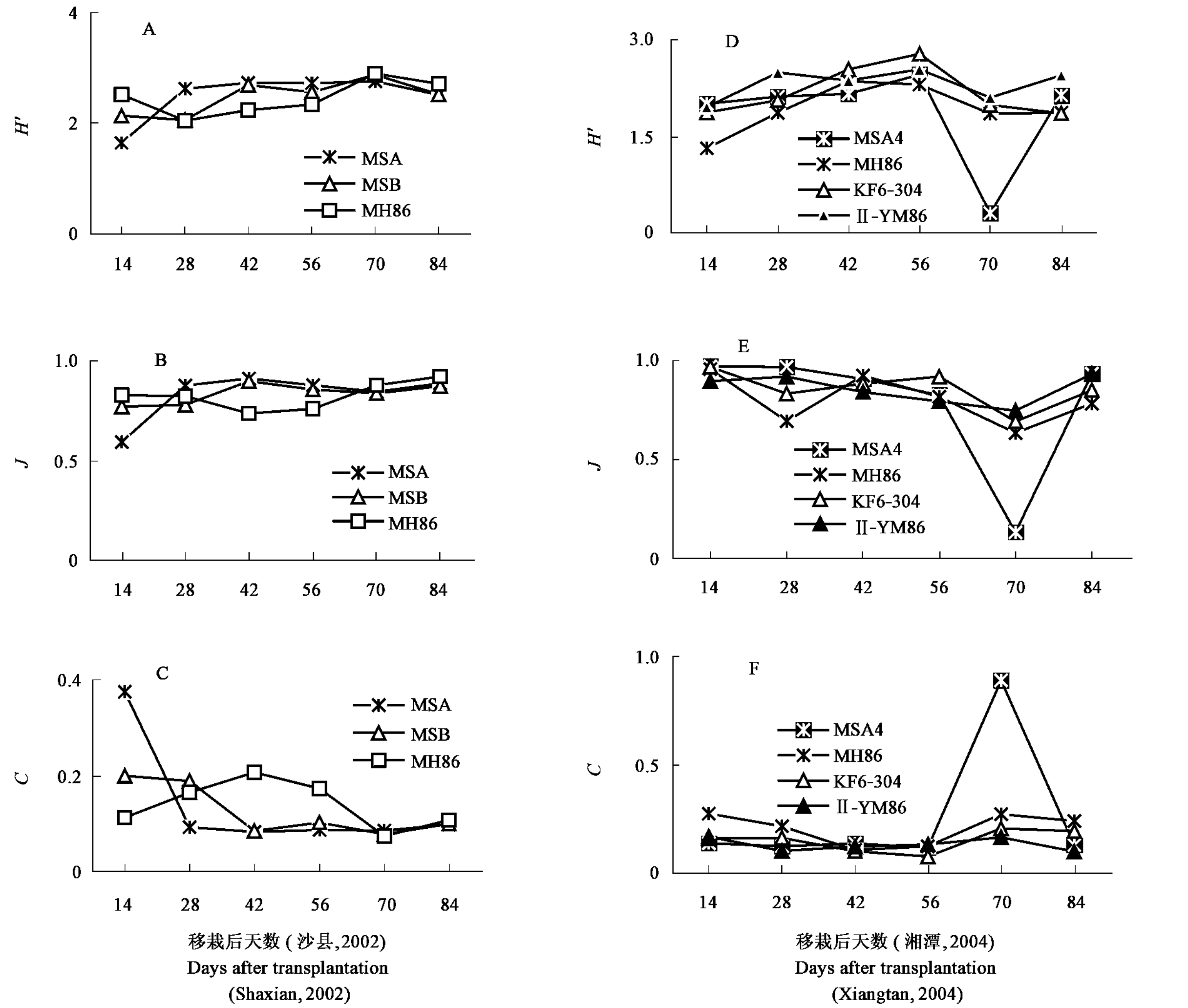

图 1　**寄生蜂群落多样性、均匀性与优势集中性指数时间动态**

Fig. 1　Temporal dynamics of indexes of diversity, evenness and concentration of the parasitoid communities in paddy fields of different rice lines

表 4　不同稻系稻田寄生蜂各功能团个体数量结构（沙县，2002）

Table 4　The numbers of individuals of function groups of rice parasitoids in paddy fields of different rice lines (Shaxian, 2002) (Mean ± *SE*) (n = 6)

功能团 Function group	**稻系** Rice lines MSA	MSB	MH86	$P_{MSA\text{-}MH86}$	$P_{MSB\text{-}MH86}$
PLHP	49.33 ± 16.20	23.17 ± 7.49	30.50 ± 8.77	0.064	0.491
CMHP	4.17 ± 2.15	4.83 ± 1.83	26.00 ± 8.98	0.039	0.043
OBHP	7.83 ± 2.24	5.33 ± 1.05	6.17 ± 1.89	0.489	0.693
PHP	0.50 ± 0.22	0.83 ± 0.48	1.00 ± 0.37	0.415	0.741
NKHP	28.83 ± 5.50	35.83 ± 7.75	30.5 ± 5.38	0.822	0.331

PLHP：**稻飞虱与叶蝉寄生蜂** Parasitoids of rice planthoppers and leafhoppers；CMHP：**稻纵卷叶螟寄生蜂** Parasitoids of *C. medinalis*；OBHP：**其他螟虫类寄生蜂** Parasitoids of other bollworms；PHP：**重寄生蜂** Parasitoids of other parasitoids；NKHP：**其他寄生蜂** Other parasitoids. **表** 5 **与图** 2 **同此** The same for Table 5 and Fig. 2.

表 5 不同稻系稻田寄生蜂各功能团个体数量结构（湘潭，2004）

Table 5 The numbers of individuals of function groups of rice parasitoids in paddy fields of different rice lines (Xiangtan, 2004) (Mean ± *SE*) (n = 6)

功能团 Function group	稻系 Rice lines MSA4	稻系 Rice lines MH86	$P_{MSA4-MH86}$	稻系 Rice lines KF6-304	稻系 Rice lines II-MH86	$P_{KF6-304-II-YM86}$
PLHP	164.33 ± 147.19	46.33 ± 20.17	0.414	36.50 ± 13.27	22.33 ± 12.52	0.054
CMHP	4.83 ± 1.38	13.83 ± 3.10	0.021	5.33 ± 1.33	18.50 ± 6.59	0.049
OBHP	3.67 ± 0.71	1.17 ± 0.54	0.052	5.67 ± 1.31	7.67 ± 2.14	0.463
PHP	1.33 ± 0.95	2.17 ± 0.70	0.462	1.17 ± 0.65	1.50 ± 0.67	0.611
NKHP	10.0 ± 5.96	14.67 ± 6.88	0.092	8.67 ± 3.29	23.67 ± 12.42	0.270

2.3.2 对重要寄生蜂功能团个体数量时间动态的影响：2002 年在福建沙县的各次调查结果表明，MSA、MSB 稻田中飞虱与叶蝉卵寄生蜂功能团的个体数量略高于或略低于对照 MH86，但无显著差异，且其时间动态变化趋势基本一致（图 2：A）。MSA 与 MSB 稻田中以稻纵卷叶螟为寄主的寄生蜂功能团个体数量，均显著低于对照稻 MH86（图 2：B）。

2004 年在湖南湘潭的调查显示了与 2002 年在沙县相似的试验结果，除水稻移栽后第 70 天，在 MSA4 稻田中采集到大量的卵寄生蜂，使 PLHP 寄生蜂功能团个体显著高于对照外，其余各次的个体数量均显示 MSA4 与对照 MH86 无显著差异，且其时间动态变化趋势一致（图 2：C）。MSA4 与 KF6-304 稻田中以稻纵卷叶螟为寄主的寄生蜂功能团个体数量，均分别显著低于各自的对照稻 MH86 与 Ⅱ-YM86（图 2：D）。

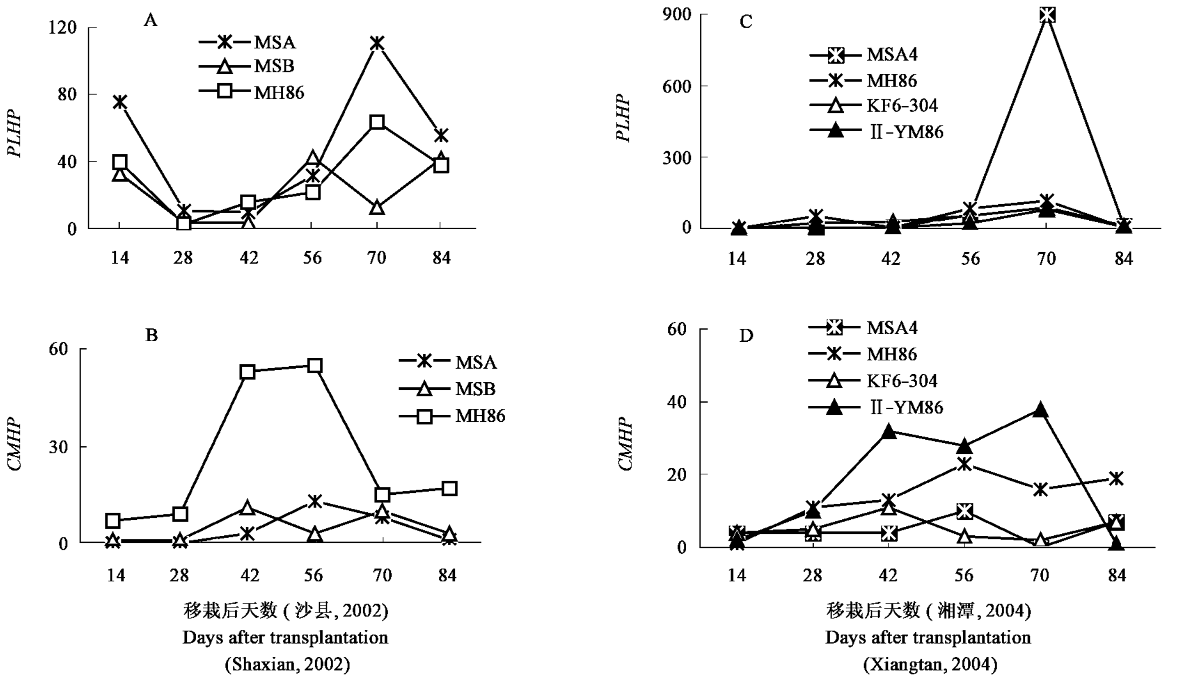

图 2 不同稻系稻田 PLHP 与 CMHP 寄生蜂功能团个体数量时间动态

Fig. 2 Temporal dynamics of the numbers of individuals of the PLHP and CMHP function groups in paddy fields of different rice lines

3 结论与讨论

在群落水平上，转基因水稻 MSA、MSB、MSA4 及杂交稻 KF6-304 对稻田寄生蜂的物种丰富度、多样性指数、均匀性指数和优势集中性指数的总体情况与时间动态以及个体总数无明显负面影响，但在生长中期转基因稻可降低稻田寄生蜂的个体数量。

按寄生蜂功能团分析，MSA 与 MSA4 在水稻生长发育的后期初始，提高卵寄生蜂的数量，MSA、MSB、MSA4 及杂交稻 KF6-304 显著降低以靶标害虫稻纵卷叶螟为寄主的寄生蜂功能团的个体数量，对其他寄生蜂无明显负面影响。

稻飞虱在群落中的优势度占 75% ~ 92%，是稻田优势害虫，整个生育期内稻飞虱密度在转基因稻田与对照稻田间无明显差异（刘雨芳，2005b），本文

将以稻田飞虱卵和叶蝉卵为寄主的寄生蜂功能团 PLHP 及以靶标害虫稻纵卷叶螟为寄主的寄生蜂功能团 CMHP 作为重要寄生蜂对其个体数量时间动态作了单独分析。在 2002 年沙县及 2004 年湘潭的试验中,水稻整个生长期采集到重要寄生蜂的个体总数及从各次调查采集到重要寄生蜂数量的时间变化趋势上,MSA、MSB、MSA4 与 KF6-304 均与各自的对照稻无显著差异,但 MSA 在移栽后第 14、70 天,田间飞虱与叶蝉卵寄生蜂的个体数量明显高于对照稻田,即此期 MSA 明显刺激飞虱与叶蝉卵寄生蜂的数量发生。MSA4 在移栽后第 70 天,卵寄生蜂缨小蜂 *Anagrus* sp. 的种群密度极高,在整个寄生蜂群落中数量占绝对优势,从而显著降低了群落的多样性指数、均匀性指数,优势集中性非常明显(图 1:D,E,F),同时卵寄生蜂功能团的个体数量也显著地高于对照(图 2:C)。

Schoenly 等(2003)认为,寄主的缺失将引起相应寄生蜂的链锁缺失,寄生蜂对转基因水稻的环境反应比捕食性天敌敏感。转 *cry1Ac/sck* 双基因水稻极显著地抑制靶标害虫稻纵卷叶螟的田间种群数量(刘雨芳,2005b),对以稻纵卷叶螟为寄主的寄生蜂产生直接的影响,显著降低其田间种群数量。转基因水稻本身是否影响寄生蜂的搜寻行为,从而影响寄生蜂的田间种群数量则有待进一步的研究。

MSA、MSA4 明显提高以非靶标害虫飞虱卵等为寄主的寄生蜂的田间数量,在一定程度上弥补了以稻纵卷叶螟为寄主的寄生蜂数量的降低,因此,转 *cry1Ac/sck* 双基因水稻在群落水平上对寄生蜂的数量与功能不会引起明显负反应。

致谢　福建农林大学林乃铨教授、黄建教授、刘长明博士、杨建全博士、胡红英博士、荆英博士分别为本文鉴定部分标本;福建农林大学 2000 级实习生林胜、陈文乐参加了在福建沙县的田间调查,谨致谢忱!

参 考 文 献 (References)

Bernal CC, Aguda RM, Cohen MB, 2002. Effect of rice lines transformed with *Bacillus thuringiensis* toxin genes on the brown planthopper and its predator *Cyrtorhinus lividipennis*. *Entomol. Exp. Appl.*, 102(1):21 – 28.

Cai WL, Shi SB, Yang CJ, Peng YF, 2005. Difference of arthropod communities in Bt rice paddies under diferrent cropping patterns. *Acta Entomol. Sin.*, 48(4):537 – 543.[蔡万伦,石尚柏,杨长举,彭于发,2005. 不同种植方式下转 Bt 基因水稻对稻田节肢动物群落的影响. 昆虫学报,48(4):537 – 543]

Chen M, Ye GY, Hu C, Tu J, Datta SK, 2003. Effect of transgenic Bt rice on dispersal of planthoppers and leafhoppers as well as their egg parasitic wasps. *J. Zhejiang Univ.* (*Agric. Life Sci.*), 29(1):29 – 33.[陈茂,叶恭银,胡萃,Tu J,Datta SK,2003. Bt 水稻对飞虱和叶蝉及其卵寄生蜂扩散规律的影响. 浙江大学学报(农业与生命科学版),29(1):29 – 33]

Chen XJ, He SL, Cheng KL, Ren GJ, 2003. Effect of Bt-transgenic rice on organism community in paddy-field. *J. Sichuan Agric. Univ.*, 21(2):185 – 186.[陈晓娟,何树林,程开禄,任光俊,2003. 转 Bt 基因抗虫水稻对稻田生物群落的影响. 四川农业大学学报,21(2):185 – 186]

Ci XY, Yao FY, Zhu CX, Song YZ, Wen FJ, Jiang MS, 2005. Breeding resistant rice varieties from transgenic parental lines with *cry1Ab* and *Xa21* genes and their field performance. *Scientia Agricultura Sinica*, 38(2):313 – 319.[慈晓燕,姚方印,朱常香,宋云枝,温孚江,姜明松,2005. 含 *cry1Ab* 和 *Xa21* 基因抗病虫水稻选育研究及其田间表现. 中国农业科学,38(2):313 – 319]

Cohen MB, Gould F, Bentur JS, 2000. Bt rice:practical steps to sustainable use. *Int. Rice Res. Notes*, 25(2):5 – 10.

Cui JJ, Luo JY, Wang CY, Li SH, Li CH, 2005. Effects of transgenic *CrylAc* plus *CpTI* cotton on development of main parasitoids in laboratory. *Acta Gossypii Sinica*, 17(1):37 – 41.[崔金杰,雒瑜,王春义,李树红,李春花,2005. 转双价基因棉对棉田主要寄生性天敌生长发育的影响. 棉花学报,17(1):37 – 41]

Ding YQ, 1994. Insect Mathematic Ecology. Beijing:Science Press. 431 – 457.[丁岩钦,1994. 昆虫数学生态学. 北京:科学出版社. 431 – 457]

Fu Q, Wang F, Li DH, Yao Q, Lai FX, Zhang ZT, 2003. Effects of insect-resistant transgenic lines MSA and MSB on non-target pests *Nilaparvata lugens* and *Sogatella furcifera*. *Acta Entomol. Sin.*, 46(6):697 – 704.[傅强,王峰,李东虎,姚青,赖凤香,张志涛,2003. 转基因抗虫水稻 MSA 和 MSB 对非靶标害虫褐飞虱和白背飞虱的影响. 昆虫学报,46(6):697 – 704]

Geng JH, Shen ZR, Li ZhX, Zheng L, 2005. Effect of pollen of conventional cotton and transgenic *CrylAc* + *CpTI* cotton on reproduction and survival of the parasitoid wasp *Trichogramma confusum* Viggiani (Hymenoptera:Trichogrammatidae). *Acta Ecologica Sinica*, 25(7):1 575 – 1 582.[耿金虎,沈佐锐,李正西,郑礼,2005. 常规棉花粉和转 *CrylAc* + *CpTI* 棉花粉对拟澳洲赤眼蜂繁殖和存活的影响. 生态学报,25(7):1 575 – 1 582]

Huang J, 1994. Systematic Studies on Aphelinidae of China (Hymenoptera:Chalcidoidea). Chongqing:Chongqing Publishing House. 14 – 348.[黄建,1994. 中国蚜小蜂科分类(膜翅目:小蜂总科). 重庆:重庆出版社. 14 – 348]

Jiang YH, HU Q, Cheng JA, Ye GY, Bai YY, Zhang ZT, 2004. Effects of transgenic Bt rice on the biological characteristics of *Apanteles chilonis* (Munakata) (Hymenoptera:Braconidae). *Acta Entomol. Sin.*, 47(1):124 – 129.[姜永厚,傅强,程家安,叶恭银,白耀羽,张志涛,2004. 转 Bt 基因水稻对二化螟绒茧蜂生物学特性的影响. 昆虫学报,47(1):124 – 129]

Khanna HK, Raina SK, 2002. Elite indica transgenic rice plants expressing

modified *Cry*1*Ac* endotoxin of *Bacillus thuringiensis* show enhanced resistance to yellow stem borer (*Scirpophaga incertulas*). *Transgenic Res*., 11(4): 411–423.

Khurram B, Tayyab H, Tahira F, Zakia L, Syed AM, Sheikh R, 2004. Field evaluation and risk assessment of transgenic indica Basmati rice. *Molecular Breeding*, 13: 301–312.

Liu YF, 2004a. Effects of Transgenic Rice Plants on Arthropod Community in Paddy Fields and Assessment of Ecological Safety. Postdoctor Report, Fujian Agriculture and Forestry University. 1–123. [**刘雨芳**, 2004a. **转基因抗虫水稻对稻田节肢动物群落的影响与生态安全评价. 博士后工作报告,福建农林大学博士后工作站**. 1–123]

Liu YF, 2004b. Advances on transgenic Bt rice and ecological safety evaluation. *Life Science Research*, 8(4): 294–299. [**刘雨芳**, 2004b. **转** Bt **基因抗虫水稻的研究进展与生态安全评价. 生命科学研究**, 8(4): 294–299]

Liu YF, You MS, Wang Q, Hu SQ, Liu WH, Zhao SX, 2005a. Resistance of *cry*1*Ac* + *sck* transgenic rice and its filial generation to the rice leaf roller *Cnaphalocrocis medinalis*. *Scientia Agricultura Sinica*, 38(4): 725–729. [**刘雨芳, 尤民生, 汪琼, 胡斯琴, 刘文海, 赵士熙**, 2005a. **转基因水稻及其杂交后代对稻纵卷叶螟的田间抗性检测. 中国农业科学**, 38(4): 725–729]

Liu YF, Su J, You MSh, Wang Q, Hu SQ, Liu WH, Zhao ShX, Wang F, 2005b. Effect of transgenic pest-resistant rice on pest insect communities in paddy fields. *Acta Entomol. Sin*., 48(4): 544–553. [**刘雨芳, 苏军, 尤民生, 汪琼, 胡斯琴, 刘文海, 赵士熙, 王锋**, 2005b. **转基因抗虫水稻对水稻害虫群落的影响. 昆虫学报**, 48(4): 544–553]

Liu YF, You MS, Wang Q, Hu SQ, Liu WH, Zhao SX, 2005c. Effect of insect-resistant *cry*1*Ac*/*sck* transgenic rice on the communities of predatory arthropods in paddy fields and its evaluating of ecological safety. In: Chen ZM ed. Study on Preventing and Control of Bioagricultural Disaster. Beijing: China Agricultural Scientech Press. 24–31. [**刘雨芳, 尤民生, 汪琼, 胡斯琴, 刘文海, 赵士熙**, 2005c. **转** *cry*1*Ac*/*sck* **基因抗虫水稻对稻田捕食性节肢动物群落的影响及生态安全评价. 见:成卓敏 主编. 农业生物灾害预防与控制研究. 北京:中国农业科学技术出版社**. 24–31]

Liu YF, Zhang GR, Gu DX, 1999. Investigating the arthropods community in paddy fields using an important suction sampling machine. *Plant Protection*, 25(6): 39–40. [**刘雨芳, 张古忍, 古德祥**, 1999. **利用改装的吸虫器研究稻田节肢动物群落. 植物保护**, 25(6): 39–40]

Liu ZC, Ye GY, Hu C, Datta SK, 2002. Efects of Bt transgenic rice on population dynamics of main non-target insect pests and dominant spider species in rice paddies. *Acta Phytophylacica Sinica*, 9(2): 138–144. [**刘志诚, 叶恭银, 胡萃**, Datta SK, 2002. **转** Bt **基因水稻对主要非靶标害虫和蜘蛛优势种田间种群动态的影响. 植物保护学报**, 9(2): 138–144]

Liu ZC, Ye GY, Hu C, Datta SK, 2003. Impact of transgenic *indica* rice with a fused gene of *Cry*1*Ab*/*Cry*1*Ac* on the rice paddy arthropod community. *Acta Entomol. Sin*., 46(4): 454–465. [**刘志诚, 叶恭银, 胡萃**, Datta SK, 2003. **转** *Cry*1*Ab*/*Cry*1*Ac* **基因籼稻对稻田节肢动物群落影响. 昆虫学报**, 46(4): 454–465]

Ma BT, Wang LX, Li P, Zhu Z, Zhou KD, 2004b. Study on transgene improving resistance to rice stem borers. *J. Sichuan Agric. Univ*., 22(1): 18–22. [**马炳田, 王玲霞, 李平, 朱祯, 周开达**, 2004b. **转基因改良水稻的抗螟虫性研究. 四川农业大学学报**, 22(1): 18–22]

Ma BT, Wang LX, Li P, Zhu Z, Zhou KD, 2004a. Obtaining transgenic elite indica maintainer line containing modified *CpTI* (*sck*). *Acta Agron. Sin*., 30(1): 60–65. [**马炳田, 王玲霞, 李平, 朱祯, 周开达**, 2004a. **转抗虫基因三系优良保持系的获得. 作物学报**, 30(1): 60–65]

Meng FX, Wu KM, Gao XW, Peng YF, Guo YY, 2003. Geographic variation in susceptibility of *Chilo suppressalis* (Lepidoptera: Pyralidae) to *Bacillus thuringiensis* toxins in China. *J. Econ. Entomol*., 96(6): 1 838–1 842.

Philip JD, Belinda C, Eliana MGF, 2002. Potential for the environmental impact of transgenic crops. *Nature Biotechnology*, 20(6): 567–574.

Schoenly KG, Cohen MB, Barrion AT, Zhang WJ, Gaolach B, Viajante VD, 2003. Effects of *Bacillus thuringiensis* on non-target herbivore and natural enemy assemblages in tropical irrigated rice. *Environ. Biosafety Res*., 3: 181–206.

Shelton Am, Zhao JZ, Roush RT, 2002. Economic, ecological, food safety, and social consequences of development of *Bt* transgenic plants. *Ann. Rev. Entomol*., 47: 845–881.

Snow AA, Andow DA, Gepts P, Hallerman EM, Power A, Tiedje JM, Wolfenbarger LL, 2005. Genetically engineered organisms and the environment: current status and recommendations. *Ecol. Appl*., 15(2): 377–404.

Xia SY, Wu HF, Wang ZP, 1988. Natural Color Iconographs of Entomophagous Insects in Paddy Fields. Changsha: Hunan Press of Science & Technology. 1–49. [**夏松云, 吴慧芬, 王自平**, 1988. **稻田天敌昆虫原色图册. 长沙:湖南科学技术出版社**. 1–49]

Yang QW, 2003. Potential biological safety problems and countermeasures in developing transgenic rice in China. *J. Plant Genetic Resources*, 4(3): 261–264. [**杨庆文**, 2003. **转基因水稻的生物安全性问题及其对策. 植物遗传资源学报**, 4(3): 261–264]

Ye GY, Shu QY, Yao HW, Cui HR, Cheng XY, Hu C, Xia YW, Gao MW, Altosaar I, 2001. Field evaluation of resistance of transgenic rice containing a systhetic *cry*1*Ab* gene from *Bacillus thuringiensis* Berliner to two stem borers. *J. Econ. Entomol*., 94(1): 271–276.

Zhao HR, Zhang YJ, Wu KM, Zhao KJ, Peng YF, Guo YY, 2004. Expression of *cry*1*Ac* protein in *cry*1*Ac*/*CpTI* transgenic rice and its resistance in different stages to *Chilo suppressalis*. *J. Agric. Biotech*., 12(1): 76–79. [**赵红盈, 张永军, 吴孔明, 赵奎军, 彭于发, 郭予元**, 2004. **转** *cry*1*Ac*/*CpTI* **双价基因水稻** *cry*1*Ac* **杀虫蛋白的表达特性及其对二化螟的毒杀效果. 农业生物技术学报**, 12(1): 76–79]

Zhu Z, 2001. Research and development of highly insect-resistant transgenic rice. *Journal of Chinese Academy of Sciences*, 5: 353–357. [**朱祯**, 2001. **高抗虫转基因水稻的研究与发展. 中国科学院院刊**, 5: 353–357]

(责任编辑:袁德成)